

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
„ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”**

**ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ГЕОМЕТРІЯ В ЗАДАЧАХ
КОМП’ЮТЕРНОЇ ГРАФІКИ ТА КОМП’ЮТЕРНОГО ЗОРУ**

Методичні вказівки для лабораторних занять

Харків 2018

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
„ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”**

**ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ГЕОМЕТРІЯ В ЗАДАЧАХ
КОМП’ЮТЕРНОЇ ГРАФІКИ ТА КОМП’ЮТЕРНОГО ЗОРУ**

Методичні вказівки для лабораторних занять для
студентів спеціальності 122 Комп’ютерні науки

Затверджено
редакційно-видавничою
радою університету,
протокол № 3 від 10.10.18 р.

Харків
НТУ «ХПІ»
2018

Обчислювальна геометрія в задачах комп'ютерної графіки та комп'ютерного зору. Методичні вказівки для лабораторних занять для студентів спеціальності 122 Комп'ютерні науки / Уклад. Дашкевич А.О. – Харків : НТУ «ХПІ», 2018. – 15 с.

Укладач А. О. Дашкевич

Рецензент Д. В. Воронцова

Кафедра геометричного моделювання та комп'ютерної графіки

ВСТУП

Обчислювальна геометрія – галузь комп'ютерних наук, що вивчає способи побудови ефективних алгоритмів для розв'язання геометричних задач. Об'єктами вивчення обчислювальної геометрії є дискретні геометричні об'єкти, базовими з яких є точка та відрізок прямої, на основі яких будуються складні об'єкти, такі як багатокутники (полігони) в двовимірному просторі та їх узагальнення в тривимірному просторі – багатогранники (поліедри).

Сучасна підготовка магістрів зі спеціалізації „Графічні інформаційні технології та геометричне моделювання” потребує викладання студентам сучасних алгоритмів обчислювальної геометрії. Методичні вказівки, які запропоновано автором, відповідають зазначеній потребі.

Автор пропонує сучасний підхід до викладання навчального матеріалу з усіх основних питань обчислювальної геометрії. Автором розроблено комплексний підхід до організації логічного зв'язку у викладенні матеріалу лабораторних робіт. В роботі розглянуто основи реалізації алгоритмів обчислювальної геометрії.

Структурно вказівки містять вступ та опис 16 лабораторних занять.

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ 1

Геометричні засади обчислювальної геометрії

Мета роботи: вивчення методу оцінки часової складності алгоритмів та базових функцій алгоритмів обчислювальної геометрії.

Завдання на роботу: оцінювання часової складності алгоритмів. Реалізація базових функцій для геометричних алгоритмів.

Порядок виконання роботи

1. Провести приблизне оцінювання часової складності алгоритму пошуку найближчої (або найвіддаленішої) пари точок на площині.
2. Провести приблизне оцінювання часової складності алгоритму пошуку усіх найближчих пар точок на площині.
3. Реалізація алгоритмів для розв'язку задач п. 1) та 2).
4. Реалізація функції розрахунку подвійної орієнтованої площі трикутника.
5. Реалізація функції пошуку найлівішої точки в точковій множині. Якщо таких точок декілька, то функція повинна повертати найнижчу з них.

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ 2

Локалізація точки в опуклому багатокутнику. Пошук перетинів відрізків

Мета роботи: вивчення ефективних алгоритмів локалізації точки в багатокутниках та пошуку всіх перетинів відрізків.

Завдання на роботу: реалізація алгоритму локалізації точки та алгоритму Бентлі–Оттмана.

Порядок виконання роботи

1. За заданим опуклим багатокутником, вершини якого проіндексовано проти годинникової стрілки, та деякою точкою визначити положення точки відносно багатокутника:
 - 1) визначити, чи знаходиться точка всередині сегмента, який сформовано вершинами $P_{n-1}P_0P_1$. Запропонувати можливе рішення цієї проблеми з використанням орієнтованої площі трикутника;
 - 2) якщо точка знаходиться всередині сегмента $P_{n-1}P_0P_1$, то застосувати алгоритм двійкового пошуку для локалізації точки.
2. Побудувати функцію, що реалізує алгоритм Бентлі–Оттмана.
3. Для заданого набору відрізків знайти усі точки перетинів відрізків за алгоритмом Бентлі–Оттмана.

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ 3

Побудова опуклих оболонок для точкових множин

Мета роботи: вивчення алгоритмів побудови опуклої оболонки точкової множини на площині.

Завдання на роботу: реалізація алгоритмів Джарвіса і сканування Грехема.

Порядок виконання роботи

1. Побудувати функцію, що реалізує алгоритм Джарвіса.
2. Реалізація алгоритму сканування Грехема:
 - 1) Побудувати функцію сортування точок множини за значенням полярного кута;
 - 2) Побудувати основний цикл алгоритму Грехема.
3. Побудувати опуклі оболонки для заданого набору точок на площині з використанням розроблених алгоритмів.

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ 4

Тріангуляція багатокутників

Мета роботи: вивчення методів регуляризації та тріангуляції багатокутників.

Завдання на роботу: реалізація алгоритму регуляризації довільного простого багатокутника на монотонні частини та їх тріангуляція методом геометричного замітання.

Порядок виконання роботи

1. Виконати регуляризацію багатокутника, що заданий множиною точок та відрізків, що їх поєднують.
2. Виконати тріангуляцію отриманих монотонних багатокутників методом замітання.

Для виконання завдання слід використати структуру даних список ребер з подвійними зв'язками (DCEL), яка містить геометричну і топологічну інформацію про розбиття площини на багатокутники.

Базова структура DCEL:

Структура вершини VERTEX { x, y: координати вершини half_edge *: покажчик на напівребро, що має початок в цій вершині }
Структура грані FACE { half_edge *: інцидентне до даної грані зовнішнє напівребро,

таке що ця грань знаходиться зліва від нього (будь-яке)
 list<half_edge *>: список усіх внутрішніх напівребер (якщо у
 грані є дірки)

}

Структура напівребра HALF_EDGE {

vertex *start: початкова вершина напівребра

half_edge *twin: напівребро-близнюк до даного напівребра

half_edge *next: наступне напівребро вздовж інцидентної
 грані

half_edge *prev: попереднє напівребро вздовж інцидентної
 грані

face *left: грань зліва від даного напівребра

}

Напівребро являє собою об'єкт, що описує деяке ребро багатокутника в одному напрямку (за годинниковою або проти годинникової стрілки). Таким чином, будь-яке ребро поділяється на два напівребра-близнюки, направлених в протилежні сторони, початок одного напівребра є кінцем його близнюка та навпаки (рис. 4.1).

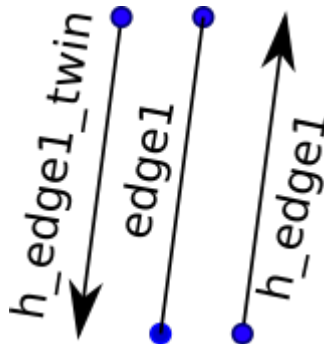


Рис. 4.1. Ребро та відповідні йому напівребра

На рис. 4.2 наведено приклад багатокутника та відповідних йому вершин, граней та напівребер. Важливим є те, як грані можуть виступати замкнені (f_1, f_2) і незамкнені багатокутники (f_3). В табл. 4.1 наведено приклад відповідної структури DCEL.

Алгоритм побудови DCEL:

- 1) Для кожної кінцевої точки створити структуру VERTEX
- 2) Для кожного відрізка багатокутника створити два напівребра і присвоїти для них покажчики на стартові вершини та на напівребра-близнюки
- 3) Для кожної кінцевої точки відсортувати вихідні напівребра за годинниковою стрілкою
- 4) Для кожної пари напівребер $\{h_1, h_2\}$ в порядку за годинниковою стрілкою присвоїти:
 $h_1.twin.next = h_2$
 $h_2.prev = h_1.twin$

5) Для кожної вершини в VERTEX обрати зі списку доступних напівребер по одному вихідному напівребру. Якщо для напівребра відсутнє або наступне, або попереднє (напівребра h_6 та h_{13} на рис. 4.2), то:
 $h.twin.next = h$
 $h.prev = h.twin$
 6) Знайти цикли шляхом обходу напівребер згідно значення поля $h.next$ та для кожного знайденого циклу призначити структуру FACE

Таблиця 4.1 – Структура DCEL для багатокутника на рис. 4.2.

Вершини					
Назва	x	y	half_edge *		
v ₁	v _{1_x}	v _{1_y}	h ₂		
v ₂	v _{2_x}	v _{2_y}	h ₁		
v ₃					
v ₄					
v ₅					
Грані					
Назва	half_edge *		list<half_edge *>		
f ₁	h ₁		—		
f ₂					
f ₃					
Напівребра					
Назва	vertex *	half_edge * twin	half_edge * next	half_edge * prev	face * left
h ₁	v ₂	h ₇	h ₂	h ₁₁	f ₁
h ₂	v ₁	h ₈	h ₁₁	h ₁	f ₁
h ₃					
h ₄					
h ₅					
h ₆					
h ₇					
h ₈					
h ₉					
h ₁₀					
h ₁₁					
h ₁₂					
h ₁₃					

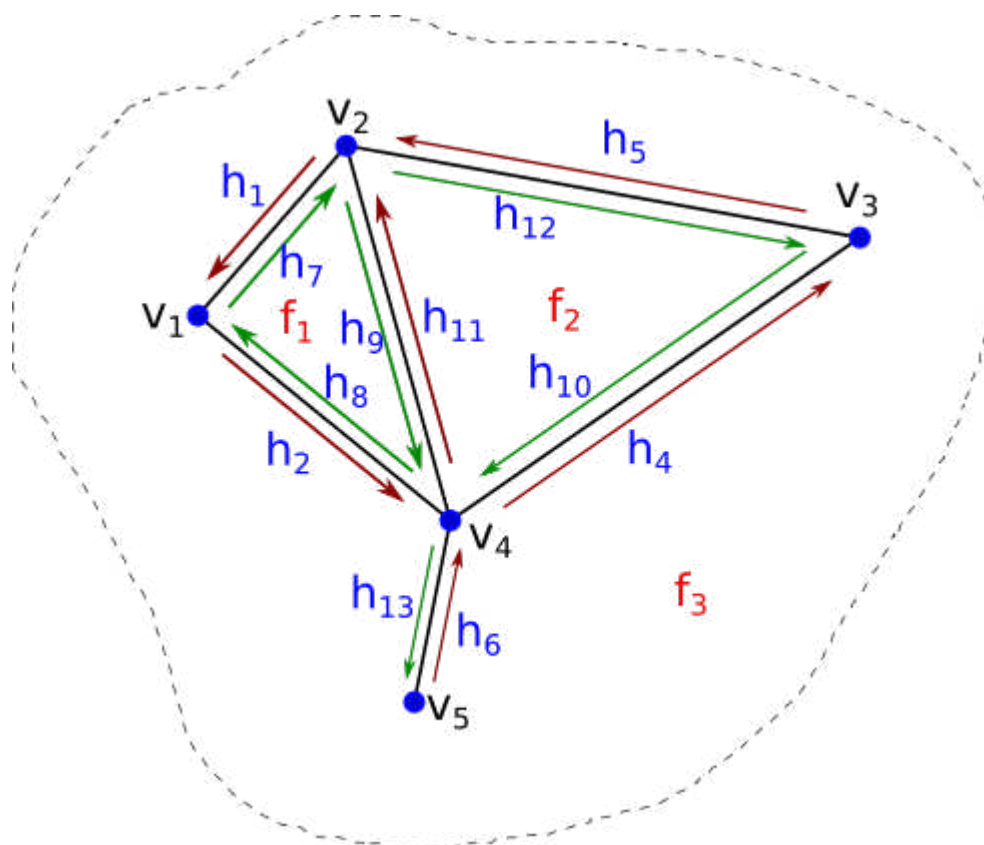


Рис. 4.2. Вершини, грані та напівребра для багатокутника

Завдання

Заповнити табл. 4.1.

Провести діагоналі для червоних вершин на рис. 4.3.

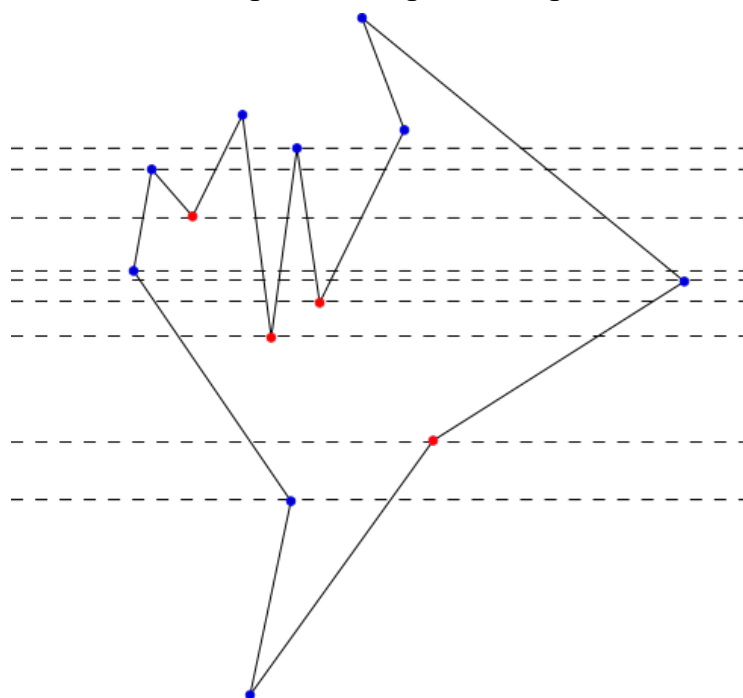


Рис. 4.3. Розбиття на монотонні багатокутники

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ 5

Побудова діаграми Вороного

Мета роботи: вивчення алгоритмів побудови діаграми Вороного.

Завдання на роботу: побудова діаграми Вороного точкової множини на площині.

Порядок виконання роботи

1. За заданою точковою множиною виконати побудову діаграми Вороного на площині методом “розділяй та володарюй”.

Під час виконання завдання використовувати структуру DCEL.

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ 6

Тріангуляція точкових множин. Тріангуляція Делоне

Мета роботи: вивчення методів тріангуляції точкових множин.

Завдання на роботу: реалізація алгоритму тріангуляції Делоне методом “розділяй та володарюй”.

Порядок виконання роботи

1. За заданою точковою множиною побудувати тріангуляцію інкрементальним методом.

2. За заданою точковою множиною побудувати тріангуляцію Делоне методом перевертання ребер.

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ 7

Геометричний пошук та просторові структури даних

Мета роботи: вивчення методів побудови kd -дерев.

Завдання на роботу: реалізація алгоритму побудови kd -дерева для двовимірного та тривимірного набору точок.

Порядок виконання роботи

1. Виконати розбиття простору по медіані за кожною з координатних осей.

2. Визначити точки, що належать лівому та правому піддеревам, рекурсивно повторити процес до повної побудови дерева.

3. Виконати пошук найближчих k сусідів для заданої точки на основі побудованого дерева.

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ 8

Просторове хешування

Мета роботи: вивчення методів просторового хешування.

Завдання на роботу: реалізація алгоритму розрахунку просторових хешів для двовимірного та тривимірного набору точок.

Порядок виконання роботи

1. Розрахувати просторові хеші для заданих точок та побудувати хеш-таблицю.
2. Виконати пошук найближчих k сусідів для заданої точки на основі хеш-таблиці.

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ 9

Основи цифрової обробки зображень

Мета роботи: вивчення методів обробки цифрових зображень, їх перетворень, побудови та еквалізації гістограм зображень.

Завдання на роботу: засвоїти функції бібліотеки OpenCV для роботи з цифровими зображеннями.

Порядок виконання роботи

1. Виконати завантаження файлу зображення в оперативну пам'ять.
2. Виконати перетворення кольорового простору зображення у формат відтінків сірого.
3. Вивести на екран властивості зображення.
4. Виконати операцію зміни розмірів зображення.
5. Застосувати до пікселів та блоків зображення градаційні перетворення: збільшення насиченості заданих регіонів, розташування зображень за прямокутною сіткою.
6. Виконати зміну каналів кольорового зображення за схемою $B \rightarrow G$, $G \rightarrow R$, $R \rightarrow B$.
7. Збільшити значення рівнів яскравості одного з каналів зображення на 50, для другого каналу – зменшити її на 25, яскравість третього каналу зменшити в 2 рази.
8. Виконати математичні операції з двома зображеннями та змішування двох зображень.
9. Виконати операції малювання прямих, кіл та інших примітивів на зображенні.
10. Розрахувати і побудувати гістограму зображення, провести її еквалізацію.
11. Застосувати до зображення просторові фільтри.
12. Провести порогову обробку зображення.

13. Виконати морфологічні операції надо бінаризованим зображенням.

14. Підібрати параметри операцій (11-14) для найбільш чіткого виділення контурів на заданому зображенні.

Для усіх етапів виконати збереження перетворених зображень в файл або виведення на екран.

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ 10

Пошук ознак на цифрових зображеннях. Методи порівняння цифрових зображень

Мета роботи: вивчення методів виділення ознак та порівняння зображень між собою.

Завдання на роботу: розробити додаток для визначення ознак на цифрових зображеннях з використанням дескрипторів SIFT, SURF та ORB та їх подальшого порівняння шляхом розрахунку кореляції, хешу по середньому, порівняння гістограм та визначенням відстані між ознаками. Порівняти результати вказаних методів.

Порядок виконання роботи

1. Виконати завантаження файлів двох зображень в оперативну пам'ять.
2. За необхідності виконати операції зменшення шуму та покращення зображень.
3. За необхідності перевести зображення у формат відтінків сірого.
4. Визначити вектори ознак з використанням алгоритмів SIFT, SURF та ORB.
5. Провести порівняння векторів ознак за метрикою Евкліда.
6. Провести розрахунок коефіцієнту кореляції двох зображень.
7. Розрахувати значення гістограм для вихідних зображень і провести їх порівняння за метрикою Евкліда.
8. Провести розрахунок хешу по середньому для вказаних зображень і провести порівняння отриманих хешів за метрикою Геммінга.
9. Провести аналіз методів порівняння зображень з точки зору задачі пошуку дублікатів зображення.

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ 11

Сегментація та кластеризація цифрових зображень. Пошук прямих, кіл та довільних форм на основі перетворення Хафа

Мета роботи: вивчення методів сегментації, кластеризації та пошуку геометричних примітивів на зображеннях.

Завдання на роботу: розробити додаток для сегментації та кластеризації цифрових зображень методами вододілу та k -середніх. Знайти геометричні примітиви на сегментованих зображеннях з використанням перетворення Хафа.

Порядок виконання роботи

1. Виконати завантаження файлів зображень в оперативну пам'ять.
2. Провести сегментацію зображень методом вододілу.
3. Провести сегментацію зображень методом k -середніх.
4. Порівняти результати сегментації за двома методами.
5. Провести пошук прямих та кіл з використанням перетворення Хафа.
6. Провести пошук об'єктів заданої довільної форми методом узагальненого перетворення Хафа.

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ 12

Методи стереозору. Геометричне калібрування камери. Пошук відповідностей між зображеннями стереопари та побудова карти глибини

Мета роботи: вивчення методів стереозору, проведення процесу калібрування камери і розрахунок її матриць перетворень, пошук відповідностей між зображеннями стереопари.

Завдання на роботу: розробити додаток для калібрування камери, пошуку відповідностей двох зображень стереопари та визначення карти глибин на їх основі.

Порядок виконання роботи

1. Виконати завантаження файлів двох зображень в оперативну пам'ять.
2. Провести калібрування камери.
3. Визначити матриці перетворень камери.
4. Розрахувати геометричну модель камери.
5. Визначити пари відповідних ключових точок на зображеннях та провести їх зіставлення.
6. Провести ректифікацію зображень стереопари.
7. Розрахувати карту розходжень.
8. Визначити карту глибини на основі карти розходжень.

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ 13

Зіставлення точкових множин

Мета роботи: вивчення методу ітеративного пошуку найближчих точок для зіставлення карт глибини в єдину точкову множину.

Завдання на роботу: провести зіставлення заданих карт глибин.

Порядок виконання роботи

1. Завантажити масив карт глибин у оперативну пам'ять.
2. Провести зіставлення суміжних пар карт глибин у єдину точкову множину з використанням алгоритму ітеративного пошуку найближчих точок.

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ 14

Пошук зображень за змістом. Пошук об'єктів на зображеннях та в тривимірних сценах

Мета роботи: вивчення основ пошуку об'єктів на зображеннях, тривимірних сценах та пошуку зображень за змістом.

Завдання на роботу: розробити просторову базу даних для швидкого пошуку об'єктів і зображень.

Порядок виконання роботи

1. Виконати завантаження масиву зображень в оперативну пам'ять.
2. Для кожного зображення провести сегментацію та побудувати вектори ознак для кожного сегменту з використанням вивчених дескрипторів.
3. Побудувати вектори ознак для еталонних зображень, що містять задані класи об'єктів.
4. Побудувати просторову структуру даних та базу даних на її основі, яка міститиме еталонні вектори ознак для кожного класу об'єктів.
5. Для кожного сегмента з тестових зображень знайти найближчий вектор ознак в базі даних та повернути клас відповідного об'єкту.
6. Побудувати хеш-таблицю на основі класифікованих тестових зображень, в якій міститиметься інформація про зображення, визначені об'єкти та координати прямокутників, що їх обмежують.
7. Провести аналогічні розрахунки для пошуку об'єктів в тривимірних сцен.

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ 15

Побудова графу видимості та планування руху об'єктів комп'ютерної гри

Мета роботи: вивчення методів побудови графів видимості та їх використання в плануванні руху об'єктів в комп'ютерних іграх.

Завдання на роботу: розробити додаток для побудови графу видимості і планування руху на його основі.

Порядок виконання роботи

1. Побудувати граф видимості для заданих об'єктів на двовимірній сцені.
2. Побудувати шлях для визначеного об'єкту з уникненням зіткнень.

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ 16

Визначення зіткнень між об'єктами комп'ютерної гри

Мета роботи: вивчення методів побудови графів видимості та їх використання в плануванні руху об'єктів в комп'ютерних іграх.

Завдання на роботу: розробити алгоритм для обробки зіткнень об'єктів двовимірної та тривимірної сцени.

Порядок виконання роботи

1. Побудувати хеш-таблицю або *kd*-дерево для заданих об'єктів.
2. Визначити усі точки перетинів об'єктів між собою на основі побудованої просторової структури даних.

Навчальне видання

**Обчислювальна геометрія в задачах комп'ютерної графіки та
комп'ютерного зору**

Методичні вказівки для лабораторних занять для
студентів спеціальності 122 Комп'ютерні науки

Укладач ДАШКЕВИЧ Андрій Олександрович

Роботу до видання рекомендувала проф. Шоман О.В.

В авторській редакції

План 2018 р., поз. 365.

Підписано до друку 15.03.2019 р. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 0,8.

Видавничий центр НТУ “ХП”.

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 5478 від 21.08.2017 р.

61002, Харків, вул. Кирпичова, 2

Самостійне електронне видання